

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014年9月4日(04.09.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/132328 A1

- (51) 国際特許分類:
F03D 11/00 (2006.01) F03D 1/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/054918
- (22) 国際出願日: 2013年2月26日(26.02.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 深見 浩司(FUKAMI, Koji); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 誠真 I P 特許業務法人(SEISHIN IP PATENT FIRM, P. C.); 〒1060032 東京都港区六本木3丁目16番13号アンバサダー六本木1003号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: WINDMILL VANE AND WIND POWER GENERATION DEVICE PROVIDED WITH SAME

(54) 発明の名称: 風車翼及びこれを備えた風力発電装置

$$A \geq 250 \times \frac{r}{R} - 225$$

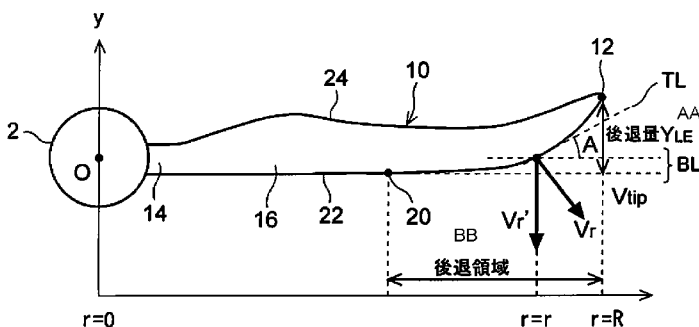


FIG. 2b:
AA Retreat amount
BB Retreat area

(57) Abstract: A windmill vane attached to a hub of a windmill, the windmill vane being provided with an airfoil part positioned between a vane tip part and a vane root part that is configured to be capable of connecting to the hub; and the windmill vane being configured so that a front edge of the airfoil part retreats relative to the vane axial direction in a retreat area provided at least to the vane tip part side, and when R denotes the distance in the vane axial direction from the rotational center of the hub to the vane tip part and r denotes the distance in the vane axial direction from the rotational center of the hub to an arbitrary point on the front edge, the angle A [degrees] between a tangent line of the front edge and the vane axial direction satisfies the relationship $0.9 \leq r/R \leq 1$, within the range of the vane axial direction.

(57) 要約: 風車のハブに取り付けられる風車翼であって、翼先端部と、前記ハブに接続可能に構成された翼根部との間に位置する翼型部を備える風車翼であって、前記翼型部は、少なくとも前記翼先端部側に設けられた後退領域において翼軸線

方向に対して前縁が後退しており、前記ハブの回転中心から前記翼先端部までの前記翼軸線方向の距離をRとし、前記ハブの回転中心から前記前縁上の任意の点までの前記翼軸線方向の距離をrとしたとき、前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度A [度]は、 $0.9 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、この関係を満たすように構成される。

WO 2014/132328 A1

明 細 書

発明の名称：風車翼及びこれを備えた風力発電装置

技術分野

[0001] 本開示は、風車翼及び風力発電装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、地球環境の保全の観点から、風力を利用した風力発電装置の普及が進んでいる。風力発電装置は、風の運動エネルギーを翼（正確には翼を含むロータ全体）の回転エネルギーに変換し、さらにこの回転エネルギーを発電機にて電力に変換するようになっている。

[0003] 風力発電装置は、発電出力の向上の観点から大型化する傾向にあり、これに伴って翼端周速は増加の一途をたどっている。そのため、風車翼の先端において雨滴や砂塵等が衝突し、エロージョンが生じやすくなっている。エロージョンによる風車翼の損傷が顕在化すると、翼表面の平滑性が失われる結果、例えば騒音の増大に代表される望ましくない現象が発生する。

[0004] 特許文献1には、エロージョンの発生を抑制するための保護コーティングが表面に施された風車翼が開示されている。

[0005] また、エロージョン発生の抑制を目的としたものではないが、特許文献2～4には、風車翼として、ロータ回転方向の下流側に後退した後退翼（swept back blade）が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：米国特許出願公開第2011/0142678号明細書

特許文献2：米国特許第7344360号明細書

特許文献3：米国特許出願公開第2009/0324416号明細書

特許文献4：特開2006-152864号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、風車翼のエロージョン進行速度は、雨滴や砂塵等に対する風車翼の衝突速度に大きく依存するため、僅かな翼長増大に伴う周速増加でエロージョンは大幅に加速されてしまう。そのため、特許文献1に記載のように保護コーティングによって風車翼の耐エロージョン性を高めるという固定概念にとらわれていては、今後のさらなる長翼化の傾向に対応することが難しい。

また、特許文献2～4には、風車翼の耐エロージョン性の向上を目的とした工夫は何ら記載されていない。

[0008] 本発明の少なくとも一実施形態の目的は、耐エロージョン性に優れた風車翼及びこれを備えた風力発電装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の少なくとも一実施形態に係る風車翼は、風車のハブに取り付けられる風車翼であって、

翼先端部と、前記ハブに接続可能に構成された翼根部との間に位置する翼型部を備える風車翼であって、

前記翼型部は、少なくとも前記翼先端部側に設けられた後退領域において翼軸線方向に対して前縁が後退しており、

前記ハブの回転中心から前記翼先端部までの前記翼軸線方向の距離をRとし、前記ハブの回転中心から前記前縁上の任意の点までの前記翼軸線方向の距離をrとしたとき、前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度A〔度〕は、 $0.9 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq 250 \times \frac{r}{R} - 225$$

の関係を満たす。

[0010] 上記風車翼によれば、後退領域における前縁は翼軸線方向に対して傾斜しているため、雨滴や砂塵等に対する前縁の衝突角度が浅くなって、雨滴や砂塵等に対する前縁の衝突速度 V_n が低減され、耐エロージョン性が向上する。とりわけ、 $0.9 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向の範囲内において、前縁の接

線と翼軸線方向とのなす角度（後退角）Aが

$$A \geq 250 \times \frac{r}{R} - 225$$

の関係を満たすため、この領域において大きなエロージョン抑制効果を楽しむことができる。本発明者の知見によれば、 $0.9 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向範囲は騒音原因になりやすい領域であるから、前縁の後退角Aの設定という簡素な手法によって上記領域における耐エロージョン性を向上させることができることは、少なくとも騒音発生の抑制の観点から有益である。

[0011] 幾つかの実施形態では、前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度Aは、 $0.8 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq 125 \times \frac{r}{R} - 100$$

の関係を満たす。

これにより、騒音への寄与度が比較的大きい $0.8 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向範囲において、エロージョン抑制効果を楽しむことができる。

[0012] 一実施形態では、前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度Aは、 $0.7 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq \frac{250}{3} \times \frac{r}{R} - \frac{175}{3}$$

の関係を満たす。

本発明者の知見によれば、 $0.8 \leq r/R \leq 0.9$ の翼軸線方向範囲は発電効率への寄与度が高い。よって、

$$A \geq \frac{250}{3} \times \frac{r}{R} - \frac{175}{3}$$

の関係を満たすような後退角Aの設定により、 $0.8 \leq r/R \leq 0.9$ の翼軸線方向範囲における耐エロージョン性を抑制できることは、騒音発生の抑制だけでなく、発電効率維持の観点からも有益である。

[0013] 一実施形態では、前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度Aは、0

、 $6 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq \frac{125}{2} \times \frac{r}{R} - \frac{75}{2}$$

の関係を満たす。

これにより、エロージョンに起因した発電効率低下をより効果的に抑制できる。

[0014] 一実施形態では、前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度 A は、0

、 $5 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq 50 \times \frac{r}{R} - 25$$

の関係を満たす。

これにより、エロージョンに起因した発電効率低下をより一層効果的に抑制できる。

[0015] 本発明の少なくとも一実施形態に係る風力発電装置は、

少なくとも一枚の風車翼と、

各々の前記風車翼が取り付けられるハブと、

前記ハブ及び前記少なくとも一本の風車翼を含むロータの回転エネルギーを電力に変換するための発電機とを備える風力発電装置であって、

各々の前記風車翼は、翼先端部と、前記ハブに接続可能に構成された翼根部との間に位置する翼型部を含み、

前記翼型部は、少なくとも前記翼先端部側に設けられた後退領域において翼軸線方向に対して前縁が後退しており、

前記ハブの回転中心から前記翼先端部までの前記翼軸線方向の距離を R とし、前記ハブの回転中心から前記前縁上の任意の点までの前記翼軸線方向の距離を r としたとき、前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度 A [度] は、 $0.9 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq 250 \times \frac{r}{R} - 225$$

の関係を満たす。

[0016] 上記風力発電装置によれば、後退領域における前縁は翼軸線方向に対して傾斜しているため、雨滴や砂塵等に対する前縁の衝突角度が浅くなって、雨滴や砂塵等に対する前縁の衝突速度 V_n が低減され、耐エロージョン性が向上する。とりわけ、 $0.9 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向の範囲内において、前縁の接線と翼軸線方向とのなす角度（後退角） A が

$$A \geq 250 \times \frac{r}{R} - 225$$

の関係を満たすため、この領域において大きなエロージョン抑制効果を楽しむことができる。このように、後退角 A の設定という簡素な手法によって翼軸線方向範囲は騒音原因になりやすい領域（ $0.9 \leq r/R \leq 1$ の）における耐エロージョン性を向上させることができることは、少なくとも騒音発生の抑制の観点から有益である。

[0017] 幾つかの実施形態では、前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度 A は、 $0.8 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq 125 \times \frac{r}{R} - 100$$

の関係を満たす。

発明の効果

[0018] 本発明の少なくとも一実施形態によれば、後退領域における前縁は翼軸線方向に対して傾斜しているため、雨滴や砂塵等に対する前縁の衝突角度が浅くなって、雨滴や砂塵等に対する前縁の衝突速度 V_n が低減され、耐エロージョン性が向上する。とりわけ、 $0.9 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向の範囲内において、前縁の接線と翼軸線方向とのなす角度（後退角） A が

$$A \geq 250 \times \frac{r}{R} - 225$$

の関係を満たすため、この領域において大きなエロージョン抑制効果を楽しむことができる。このように、後退角 A の設定という簡素な手法によって翼軸線方向範囲は騒音原因になりやすい領域（ $0.9 \leq r/R \leq 1$ の）における耐エロ

ージョン性を向上させることができることは、少なくとも騒音発生の抑制の観点から有益である。

図面の簡単な説明

- [0019] [図1]風力発電装置の構成例を示す図である。
- [図2A]典型的な前縁直線型の風車翼の概略構成を示す平面図である。
- [図2B]本発明の実施形態に係る風車翼の概略構成を示す平面図である。
- [図3A]半径位置 r/R における前縁の後退量を示すグラフである。
- [図3B]半径位置 r/R における前縁の角度を示すグラフである。
- [図4A] $k = 2$, $r/R = 0.5$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。
- [図4B] $k = 2$, $r/R = 0.6$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。
- [図4C] $k = 2$, $r/R = 0.7$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。
- [図4D] $k = 2$, $r/R = 0.8$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。
- [図4E] $k = 2$, $r/R = 0.88$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。
- [図5A] $k = 2.5$, $r/R = 0.5$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。
- [図5B] $k = 2.5$, $r/R = 0.6$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。
- [図5C] $k = 2.5$, $r/R = 0.7$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。
- [図5D] $k = 2.5$, $r/R = 0.8$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。
- [図5E] $k = 2.5$, $r/R = 0.86$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。

[図6A] $k = 3$, $r/R = 0.5$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。

[図6B] $k = 3$, $r/R = 0.6$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。

[図6C] $k = 3$, $r/R = 0.7$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。

[図6D] $k = 3$, $r/R = 0.8$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。

[図6E] $k = 3$, $r/R = 0.84$ におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、添付図面に従って本発明の実施形態について説明する。ただし、実施形態として以下に記載され、あるいは、実施形態として図面で示された構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

[0021] 図1は、風力発電装置の構成例を示す図である。

図1に示す風力発電装置1は、1本以上（この例では3本）の風車翼10と、風車翼10が取り付けられるハブ2と、風車翼10及びハブ2を含むロータを支持するナセル4と、ナセル4を旋回自在に支持するタワー6とを備える。ここで、幾つかの実施形態では、風車翼10は、後述する図2に示す構成を備える風車翼である。なお、ロータの回転は不図示の発電機に入力されて、該発電機において電力が生成されるようになっている。風車翼10のハブ2への取付けは、風車翼10の翼根部14をハブ2に任意の締結部材を用いて固定することで行われる。

[0022] 図2Aは典型的な前縁直線型の風車翼（後退角を有しない又は後退角が非常に小さい風車翼）の概略構成を示す平面図である。

図2Aに示す風車翼50は、翼先端部52と、ハブ2に接続可能に構成された翼根部54と、翼先端部52と翼根部54との間に位置する翼型部56

とを備える。翼型部56は、前縁(leading edge)62と後縁(trailing edge)64とを有する。この風車翼50では、翼根部54から翼先端部52まで前縁62が翼軸線方向BLにほぼ平行な直線となっている。

なお、本明細書において、翼軸線とは、円筒状の翼根部54の中心軸を通る直線である。よって、翼軸線方向は、翼軸線に平行な方向をいう。また、ハブ2の回転中心Oから翼先端部52までの翼軸線方向の距離をR、ハブ2の回転中心Oから前縁62上の任意の点までの翼軸線方向の距離をrと称する。

[0023] ところで、風車翼のエロージョンによって損傷が顕在化するまでの時間(エロージョン潜伏期間)Lは、雨滴や砂塵等に対する風車翼の衝突速度 V_n との間に、 $L \propto V_n^{-6.7}$ の関係が成立することが経験的に分かっている。ここで、雨滴や砂塵等の移動速度は風車翼の周速 V_r に比べてはるかに小さいため、衝突速度 V_n は風車翼の周速 V_r で近似できる。風車翼の周速 V_r は半径位置rに比例する。そのため、前縁62が翼軸線方向BLに平行な直線である風車翼50の場合、基準半径位置 r^* におけるエロージョン潜伏期間を L^* とすれば、基準半径位置 r^* よりも翼先端52側の任意の半径位置 $r (> r^*)$ におけるエロージョン潜伏期間Lは下記式(1)によって表される。

$$L = (r^*/r)^{6.7} \times L^* \quad (1)$$

したがって、風車翼50においては、翼先端52に近づけば近づくほど、エロージョンの進行速度は大きくなり、エロージョンによる損傷が表れやすい。特に、翼先端52では、周速 V_{tip} が翼全体の中で最も大きくなるので、最もエロージョンによって損傷しやすくなる。

[0024] そこで、幾つかの実施形態では、少なくとも翼先端部におけるエロージョンを抑制するために風車翼を以下のように構成する。

[0025] 図2Bは本発明の実施形態に係る風車翼の概略構成を示す平面図である。

図2Bに示す風車翼10は、翼先端部12と、ハブ2に接続可能に構成された翼根部14と、翼先端部12と翼根部14との間に位置する翼型部16

とを備える。翼型部 16 は、前縁 22 と後縁 24 とを有する。

[0026] 風車翼 10 の場合、半径位置 r における前縁 22 のエロージョン潜伏期間を決定付ける衝突速度 V_n は、半径位置 r における周速 V_r そのものではなく、大きさが V_r の周速ベクトルのうち前縁 22 の法線方向に沿った成分 V_r' である。すなわち、半径位置 r における前縁 22 の接線 TL と翼軸線方向 BL がなす角度（後退角）を A とすれば、衝突速度 $V_n = V_r \times \cos A$ で表される。

そのため、翼先端近傍におけるエロージョンの進行を抑制するために、風車翼 10 の翼先端 12 側に位置する後退領域において、翼軸線方向 BL に対して前縁 22 を後退させて、前縁の接線 TL と翼軸線方向 BL との間の角度（後退角） A をゼロよりも大きく設定する。なお、後退領域とは、前縁 22 の後退開始点 20 より翼先端 12 側の領域をいう。

[0027] ここで、本発明者の知見によれば、翼先端部 12 側の領域（ $0.9 \leq r/R \leq 1$ ）において騒音への影響が大きく、翼先端部 12 近傍において騒音への影響が最大になる。したがって、 $0.9 \leq r/R \leq 1$ の範囲における耐エロージョン性を向上させることは、少なくとも騒音発生の抑制の観点から有益である。

また、エロージョンによる損傷が最も大きい翼先端部 12 におけるエロージョン潜伏期間を、前縁直線型の風車翼 50 に比べて 2 倍程度向上させることができれば、風車翼 10 の翼先端近傍において風力発電装置 1 の標準耐用年数（例えば 20 年～25 年）までエロージョンの顕在化を遅らせることが可能になり、十分なメリットを享受できる。

[0028] そこで、幾つかの実施形態では、風車翼 10 において、前縁 22 の接線 TL と翼軸線方向 BL との間の角度 A [度]（以下、後退角 A と称する）は、 $0.9 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq 250 \times \frac{r}{R} - 225 \quad (2)$$

の関係を満たすように設定される。

[0029] 上記後退角 A の範囲について、図 3 A 及び図 3 B を参照して具体的に説明する。図 3 A は半径位置 r/R とエロージョン潜伏期間との関係を示すグラフで、図 3 B は半径位置 r/R と前縁の後退角との関係を示すグラフである。なお、図 3 A に示すエロージョン潜伏期間は、前縁直線型の風車翼 50 (図 2 A 参照) の潜伏期間 $L_{straight}$ に対する、後退角を有する風車翼 10 (図 2 B 参照) の潜伏期間 L_{swept} の比として表している。図 3 B に示す後退角 A は、半径位置 r における前縁 22 の接線 TL と翼軸線方向 BL がなす角度である。

[0030] 上記関係式 (2) は、後退角 A が、図 3 B に示す直線 111 及び直線 111 よりも上側の範囲内に収まることを意味する。また、直線 111 で表される後退角 A を有する前縁 22 のエロージョン潜伏期間 L_{swept} のエロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に対する比は、図 3 A に示す曲線 101 で表される。よって、 $0.9 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向の範囲内において後退角 A が上記関係式 (2) を満たす場合、エロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に対するエロージョン潜伏期間 L_{swept} の比は、曲線 101 及び曲線 101 よりも上側の範囲内に収まる。

[0031] 図 3 B に示す直線 111 に従った後退角 A の分布を有する風車翼 10 の場合、後退開始点 20 の半径位置 r/R が 0.9 であるため、騒音発生の抑制の観点から有益な $0.9 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向範囲において十分な後退角 A が得られる。また、直線 111 に従った後退角 A の分布を有する風車翼 10 の場合、翼先端部 12 におけるエロージョン潜伏期間 L_{swept} は、図 3 A の曲線 101 に示すように前縁直線型の風車翼 50 に比べて 2 倍となる。

[0032] こうして、上記関係式 (2) を満たすように前縁 22 の後退角 A を設定することで、騒音原因になりやすい領域 ($0.9 \leq r/R \leq 1$) において、雨滴や砂塵等に対する前縁の衝突角度が浅くなって、雨滴や砂塵等に対する前縁 22 の衝突速度 V_n が低減され、耐エロージョン性が向上する。

また、エロージョンによる損傷が最も大きい翼先端部 12 におけるエロージョン潜伏期間 L_{swept} を前縁直線型の風車翼 50 のエロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に比べて少なくとも 2 倍程度向上させることができる。したがって、風車翼 10 の翼先端近傍において風力発電装置 1 の標準耐用年数（例えば 20 年～25 年）までエロージョンの顕在化を遅らせることが可能になり、十分なメリットを享受できる。

[0033] 一実施形態では、風車翼 10 において、前縁 12 の接線 TL と翼軸線方向 BL との間の角度 A が、 $0.8 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向 BL の範囲内において、

$$A \geq 125 \times \frac{r}{R} - 100 \quad (3)$$

の関係を満たすようにしてもよい。

[0034] 上記関係式 (3) は、後退角 A が、図 3 B に示す直線 112 上及び直線 112 よりも上側の範囲内に収まることを意味している。また、直線 112 で表される後退角 A を有する前縁 22 のエロージョン潜伏期間 L_{swept} のエロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に対する比は、図 3 A に示す曲線 102 で表される。よって、 $0.8 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向の範囲内において後退角 A が上記関係式 (3) を満たす場合、エロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に対するエロージョン潜伏期間 L_{swept} の比は、曲線 102 及び曲線 102 よりも上側の範囲内に収まる。

[0035] 図 3 B に示す直線 112 に従った後退角 A の分布を有する風車翼 10 の場合、後退開始点 20 の半径位置 r/R が 0.8 であるため、騒音への寄与度が比較的大きい $0.8 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向範囲において十分な後退角 A が得られる。また、直線 112 に従った後退角 A の分布を有する風車翼 10 の場合、翼先端部 12 におけるエロージョン潜伏期間 L_{swept} は、図 3 A の曲線 102 に示すように前縁直線型の風車翼 50 に比べて 2 倍となる。

こうして、上記関係式 (3) を満たすように前縁 22 の後退角 A を設定す

ることで、騒音への寄与度が比較的大きい $0.8 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向範囲において、エロージョン抑制効果を楽しむことができる。特に、エロージョンによる損傷が最も起こりやすく、騒音への影響も最も大きい翼先端部 12 におけるエロージョン潜伏期間 L_{swept} を前縁直線型の風車翼 50 のエロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に比べて少なくとも 2 倍程度向上させることができ、風車翼 10 の翼先端近傍において風力発電装置 1 の標準耐用年数までエロージョンの顕在化を遅らせることができる。

[0036] また、一実施形態では、風車翼 10 において、前縁 22 の接線 TL と翼軸線方向 BL との間の角度 A が、 $0.7 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向 BL の範囲内において、

$$A \geq \frac{250}{3} \times \frac{r}{R} - \frac{175}{3} \quad (4)$$

の関係を満たすようにしてもよい。

[0037] 上記関係式 (4) は、後退角 A が、図 3 B に示す直線 113 上及び直線 113 よりも上側の範囲内に収まることを意味している。また、直線 113 で表される後退角 A を有する前縁 22 のエロージョン潜伏期間 L_{swept} のエロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に対する比は、図 3 A に示す曲線 103 で表される。よって、 $0.7 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向の範囲内において後退角 A が上記関係式 (4) を満たす場合、エロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に対するエロージョン潜伏期間 L_{swept} の比は、曲線 103 及び曲線 103 よりも上側の範囲内に収まる。

[0038] 図 3 B に示す直線 113 に従った後退角 A の分布を有する風車翼 10 の場合、風車翼 10 の後退開始点 20 の半径位置 r/R が 0.8 であるため、騒音への寄与度が比較的大きい $0.8 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向範囲において後退角 A が得られる。また、直線 112 に従った後退角 A の分布を有する風車翼 10 の場合、翼先端部 12 におけるエロージョン潜伏期間 L_{swept} は、図 3 A の曲線 102 に示すように前縁直線型の風車翼 50 に比べて 2 倍となる。

こうして、上記関係式(4)を満たすように前縁22の後退角Aを設定することで、騒音への寄与度が比較的大きい翼先端側の広範な領域において、エロージョン抑制効果を楽しむことができる。特に、エロージョンによる損傷が最も起こりやすく、騒音への影響も最も大きい翼先端部12におけるエロージョン潜伏期間 L_{swept} を前縁直線型の風車翼50のエロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に比べて少なくとも2倍程度向上させることができ、風車翼10の翼先端近傍において風力発電装置1の標準耐用年数までエロージョンの顕在化を遅らせることができる。

[0039] さらに、上記関係式(4)を満たすように前縁22の後退角Aを設定することで、発電効率への寄与度が高い $0.8 \leq r/R \leq 0.9$ の翼軸線方向範囲におけるエロージョンの進行を遅らせることができる。このことは、図3Aにおける曲線103から明らかである。

したがって、上記関係式(4)を満たすように前縁22の後退角Aを設定すれば、騒音発生の抑制だけでなく、発電効率維持の観点からも有益である。

[0040] また、一実施形態では、風車翼10において、前縁22の接線TLと翼軸線方向BLとの間の角度Aが、 $0.6 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向BLの範囲内において、

$$A \geq \frac{125}{2} \times \frac{r}{R} - \frac{75}{2} \quad (5)$$

の関係を満たすようにしてもよい。

[0041] 上記関係式(5)は、後退角Aが、図3Bに示す直線114上及び直線114よりも上側の範囲内に収まることを意味する。また、直線114で表される後退角Aを有する前縁22のエロージョン潜伏期間 L_{swept} のエロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に対する比は、図3Aに示す曲線104で表される。よって、 $0.6 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向の範囲内において後退角Aが上記関係式(5)を満たす場合、エロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に対するエロージョン潜伏期間 L_{swept} の比は、曲線104

及び曲線 104 よりも上側の範囲内に収まる。

[0042] 図 3 B に示す直線 114 に従った後退角 A の分布を有する風車翼 10 の場合、後退開始点 20 の半径位置 r/R が 0.6 であるため、発電効率維持への寄与度が比較的大きい $0.6 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向範囲において十分な後退角 A が得られる。これにより、騒音発生の抑制効果に加えて、エロージョンに起因した発電効率低下をより効果的に抑制できる。

[0043] さらに、一実施形態では、風車翼 10 において、前縁 22 の接線 TL と翼軸線方向 BL との間の後退角 A が、 $0.5 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向 BL の範囲内において、

$$A \geq 50 \times \frac{r}{R} - 25 \quad (6)$$

の関係を満たすようにしてもよい。

[0044] 上記関係式 (6) は、後退角 A が、図 3 B に示す直線 115 上及び直線 115 よりも上側の範囲内に含まれることを意味する。また、直線 115 で表される後退角 A を有する前縁 22 のエロージョン潜伏期間 L_{swept} のエロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に対する比は、図 3 A に示す曲線 105 で表される。よって、 $0.5 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向の範囲内において後退角 A が上記関係式 (6) を満たす場合、エロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に対するエロージョン潜伏期間 L_{swept} の比は、曲線 105 及び曲線 105 よりも上側の範囲内に収まる。

[0045] 図 3 B に示す直線 115 に従った後退角 A の分布を有する風車翼 10 の場合、後退開始点 20 の半径位置 r/R が 0.5 であるため、発電効率維持への寄与度が比較的大きい $0.5 \leq r/R \leq 1$ の翼軸線方向範囲において十分な後退角 A が得られる。これにより、騒音発生の抑制効果に加えて、エロージョンに起因した発電効率低下をより一層効果的に抑制できる。

[0046] 以上説明したように、上述の実施形態によれば、後退領域における前縁は翼軸線方向に対して傾斜しているので、雨滴や砂塵等に対する前縁の衝突角度が浅くなって、雨滴や砂塵等に対する前縁の衝突速度 V_n が低減され、耐

エロージョン性が向上する。後退角 A の設定という簡素な手法によって翼軸線方向範囲は騒音原因になりやすい領域 ($0.9 \leq r/R \leq 1$ の) における耐エロージョン性を向上させることができることは、少なくとも騒音発生の抑制の観点から有益である。

[0047] 図4～図6に、一実施形態に係る風車翼の構成とエロージョン潜伏期間との関係について示す。

図4A～図4Eは、 $k=2$ の場合の各半径位置におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。図5A～図5Eは、 $k=2.5$ の場合の各半径位置におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。図6A～図6Eは、 $k=3$ の場合の各半径位置におけるエロージョン潜伏期間、前縁の後退角及び後退量をそれぞれ示すグラフである。

なお、 k は、前縁直線型の風車翼 (図2A参照) に対する、後退翼を有する風車翼 (図2B参照) のエロージョン潜伏期間の比の翼先端における値である。すなわち、 $k=2$ の場合、前縁直線型の風車翼のエロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に比べて後退翼を有する風車翼のエロージョン潜伏期間 L_{swept} が翼先端において2倍である。同様に、 $k=2.5$ の場合、前縁直線型の風車翼のエロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に比べて後退翼を有する風車翼のエロージョン潜伏期間 L_{swept} が翼先端において2.5倍である。また、 $k=3.0$ の場合、前縁直線型の風車翼のエロージョン潜伏期間 $L_{straight}$ に比べて後退翼を有する風車翼のエロージョン潜伏期間 L_{swept} が翼先端において3倍である。

[0048] 各図には、上から順に、後退開始点 r_0 におけるエロージョン潜伏期間 L ($r=r_0$) に対する半径位置 r におけるエロージョン潜伏期間 L ($r=r$) の比 ($L(r=r)/L(r=r_0)$) を表すグラフと、前縁直線型の風車翼に対する、後退角を有する風車翼のエロージョン潜伏期間の比 ($L(swept)/L(straight)$) を表すグラフと、後退角 A を表すグラフと、後退量 Y_{LE} を回転半径 R で除して無次元化した値を表すグラフとを示し

ている。

各図において、点線は比較例である前縁直線型の風車翼の値を示す。実線は実施例X a（ただし、Xは1以上15以下の整数）であり、エロージョン潜伏期間が翼根から翼先端まで均一となるように設定された後退角を有する風車翼における各値を示す。一点鎖線は実施例X b（ただし、Xは1以上15以下の整数）であり、エロージョン潜伏期間が翼根から翼先端までの間で異なるように設定された後退角を有する風車翼における各値を示す。二点鎖線は実施例X c（ただし、Xは1以上15以下の整数）であり、エロージョン潜伏期間が、翼根から翼先端までの間で異なり、且つ、実施例X bより小さくなるように設定された後退角を有する風車翼における各値を示す。

[0049] 図4 A～図4 Eに示すように、 $k = 2$ においては、 r/R の位置に関わらず、実施例X a～X c（ただし、Xは1以上5以下の整数）ではエロージョン潜伏期間が比較例よりも大きくなる。また、比較例では翼根部と翼先端部との間でエロージョン潜伏期の差が大きかったものの、実施例1～3では翼根部と翼先端部との間でエロージョン潜伏期の差が小さくなる。

図5 A～図5 E及び図6 A～図6 Eにおいても、図4 A～図4 Eと同様のことが言える。したがって、本発明の実施形態によれば、耐エロージョン性の高い風車翼を提供できることは明瞭である。

[0050] 以上、本発明の実施形態について詳細に説明したが、本発明はこれに限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、各種の改良や変形を行ってもよいのはいうまでもない。

符号の説明

[0051]	1	風力発電装置
	2	ハブ
	4	ロータ
	6	タワー
	10, 50	風車翼
	12, 52	翼先端部

1 4, 5 4	翼根部
1 6, 5 6	翼型部
2 2, 6 2	前縁
2 4, 6 4	後縁

請求の範囲

[請求項1]

風車のハブに取り付けられる風車翼であって、
 翼先端部と、前記ハブに接続可能に構成された翼根部との間に位置する翼型部を備える風車翼であって、
 前記翼型部は、少なくとも前記翼先端部側に設けられた後退領域において翼軸線方向に対して前縁が後退しており、
 前記ハブの回転中心から前記翼先端部までの前記翼軸線方向の距離をRとし、前記ハブの回転中心から前記前縁上の任意の点までの前記翼軸線方向の距離をrとしたとき、前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度A [度] は、 $0.9 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq 250 \times \frac{r}{R} - 225$$

の関係を満たすことを特徴とする風車翼。

[請求項2]

前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度Aは、 $0.8 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq 125 \times \frac{r}{R} - 100$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項1に記載の風車翼。

[請求項3]

前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度Aは、 $0.7 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq \frac{250}{3} \times \frac{r}{R} - \frac{175}{3}$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項2に記載の風車翼。

[請求項4]

前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度Aは、 $0.6 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq \frac{125}{2} \times \frac{r}{R} - \frac{75}{2}$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項3に記載の風車翼。

[請求項5] 前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度Aは、 $0.5 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq 50 \times \frac{r}{R} - 25$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項4に記載の風車翼。

[請求項6] 少なくとも一枚の風車翼と、
各々の前記風車翼が取り付けられるハブと、
前記ハブ及び前記少なくとも一本の風車翼を含むロータの回転エネルギーを電力に変換するための発電機とを備える風力発電装置であつて、

各々の前記風車翼は、翼先端部と、前記ハブに接続可能に構成された翼根部との間に位置する翼型部を含み、

前記翼型部は、少なくとも前記翼先端部側に設けられた後退領域において翼軸線方向に対して前縁が後退しており、

前記ハブの回転中心から前記翼先端部までの前記翼軸線方向の距離をRとし、前記ハブの回転中心から前記前縁上の任意の点までの前記翼軸線方向の距離をrとしたとき、 $0.9 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq 250 \times \frac{r}{R} - 225$$

の関係を満たすことを特徴とする風力発電装置。

[請求項7] 前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度Aは、 $0.8 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq 125 \times \frac{r}{R} - 100$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項6に記載の風力発電装置。

[請求項8] 前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度Aは、 $0.7 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq \frac{250}{3} \times \frac{r}{R} - \frac{175}{3}$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項 7 に記載の風力発電装置。

[請求項 9] 前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度 A は、 $0.6 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

$$A \geq \frac{125}{2} \times \frac{r}{R} - \frac{75}{2}$$

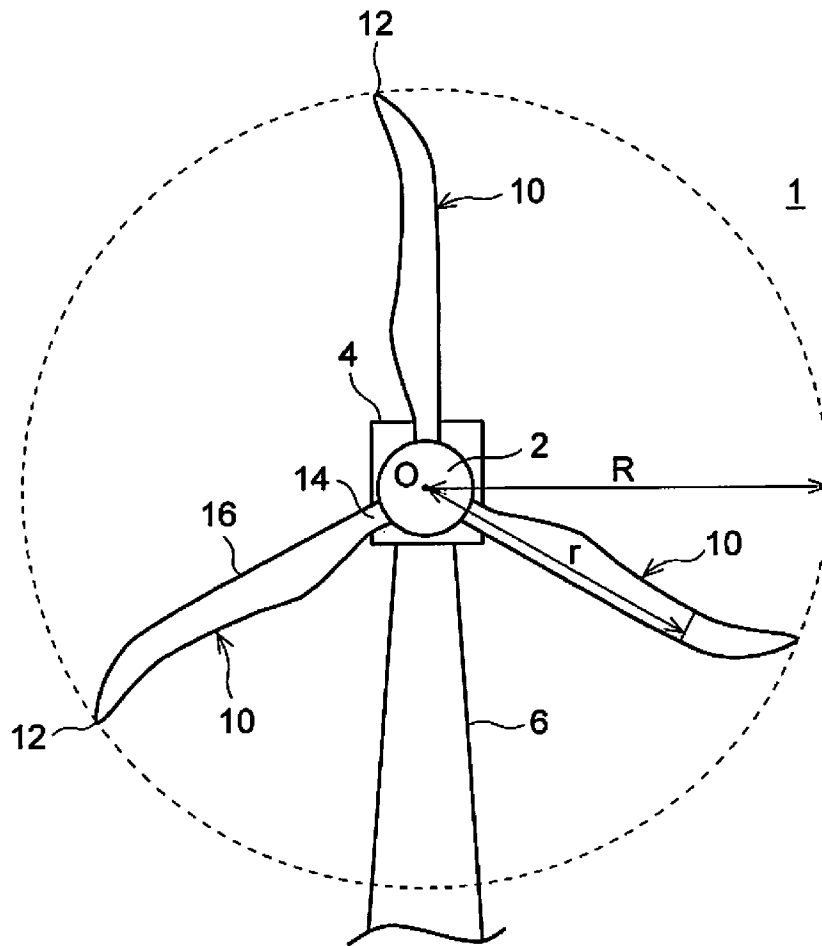
の関係を満たすことを特徴とする請求項 8 に記載の風力発電装置。

[請求項 10] 前記前縁の接線と前記翼軸線方向との間の角度 A は、 $0.5 \leq r/R \leq 1$ の前記翼軸線方向の範囲内において、

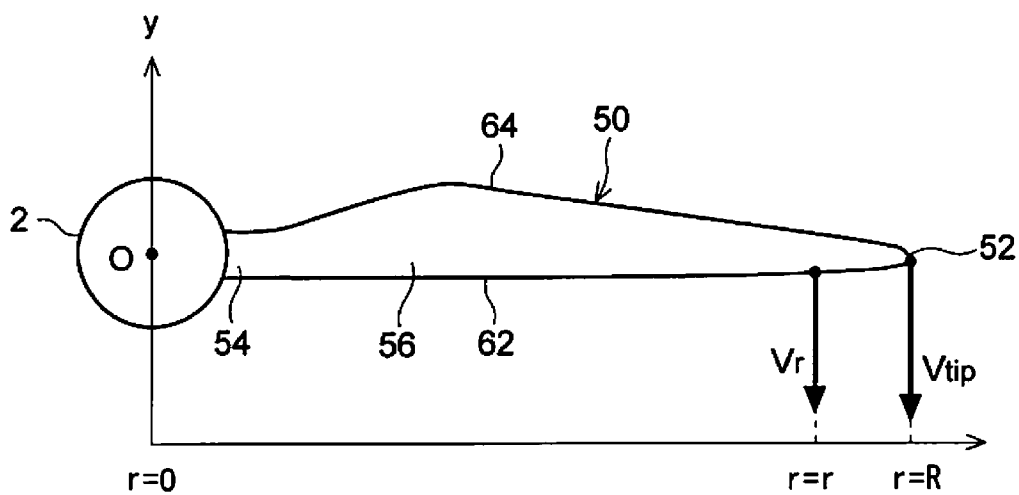
の関係を満たすことを特徴とする請求項 9 に記載の風力発電装置。

$$A \geq 50 \times \frac{r}{R} - 25$$

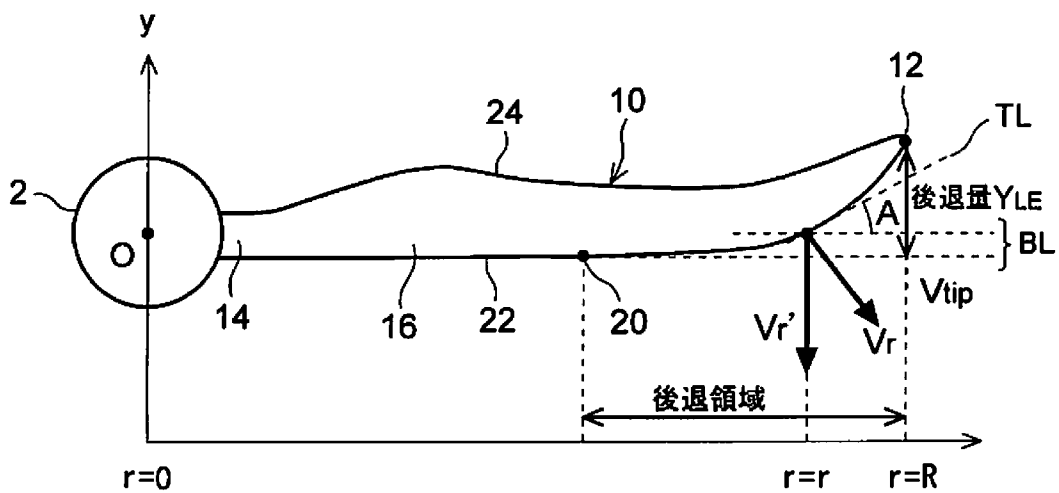
[図1]



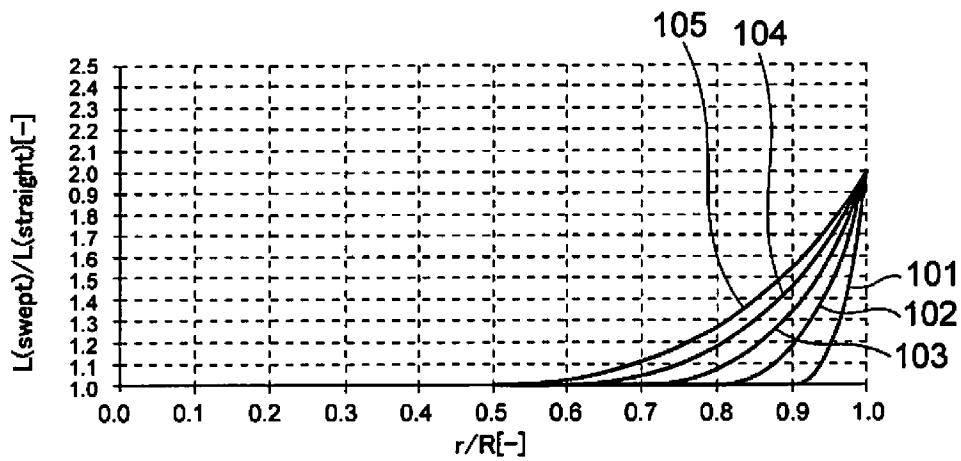
[図2A]



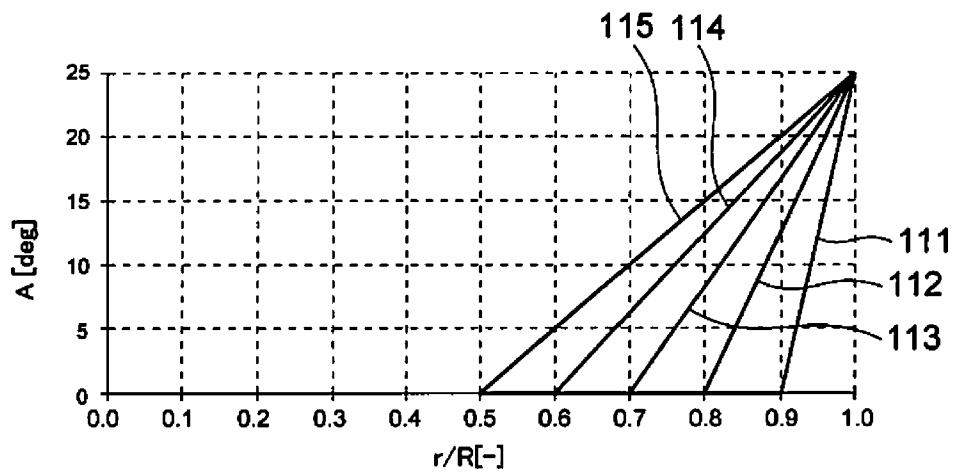
[図2B]



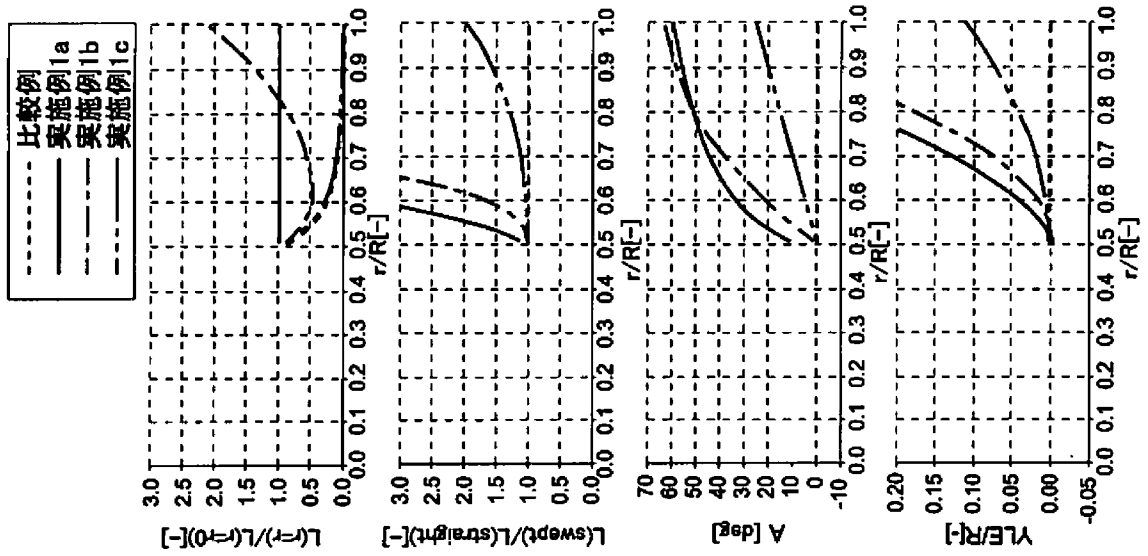
[図3A]



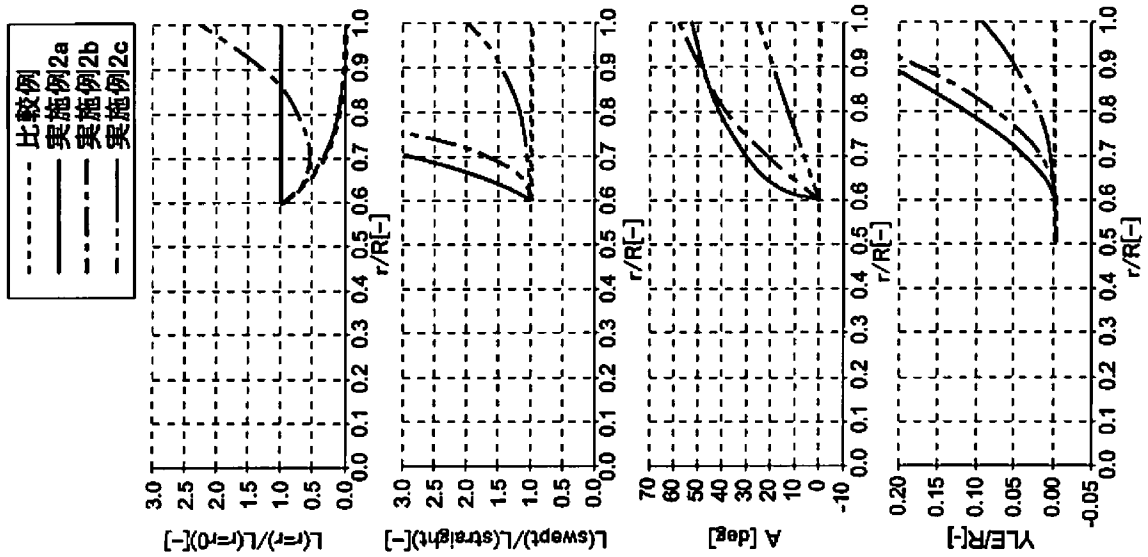
[図3B]



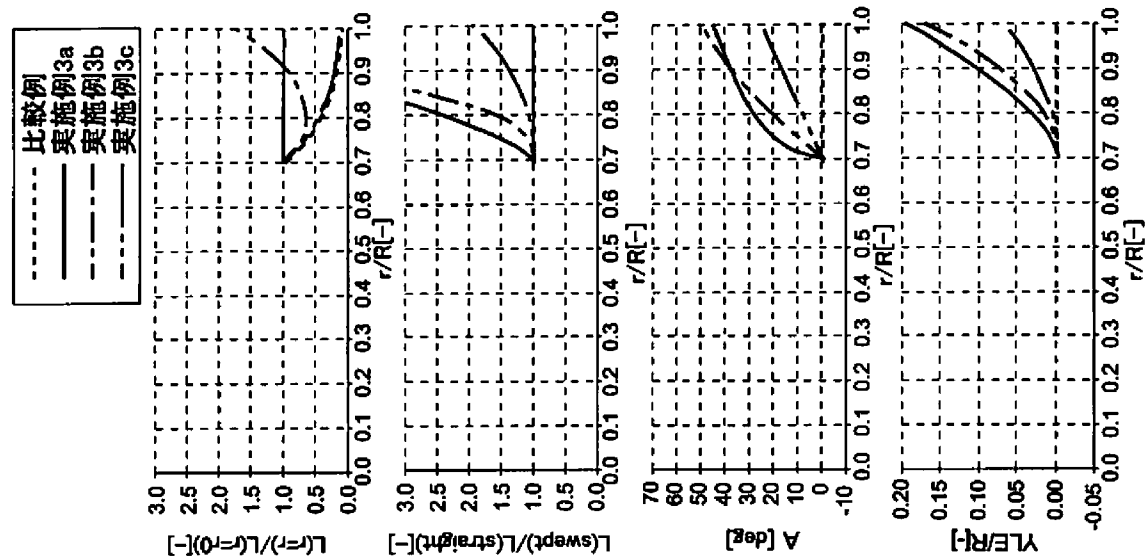
[図4A]



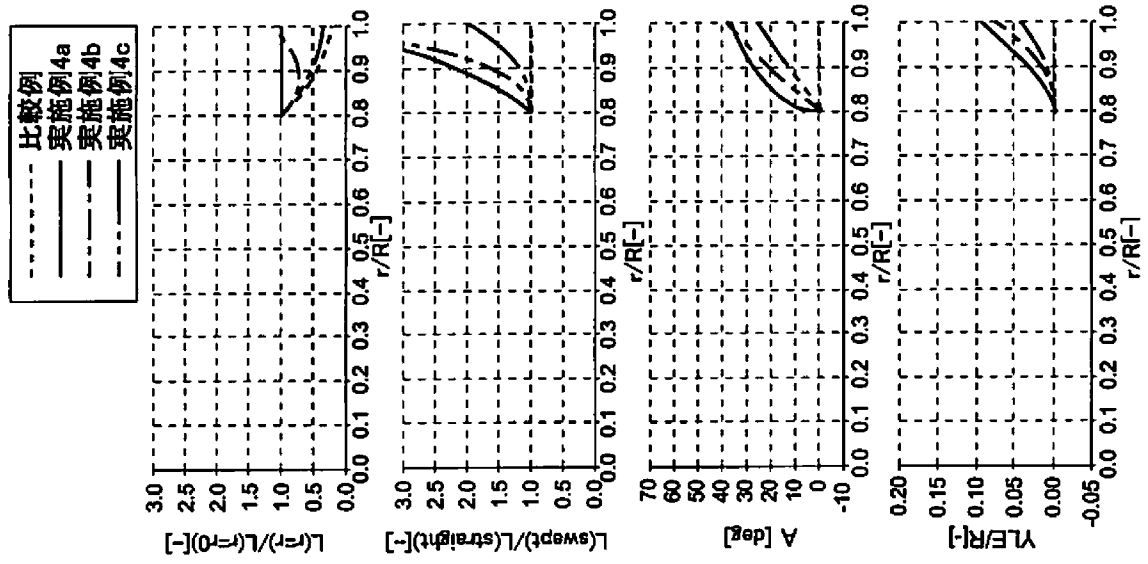
[図4B]



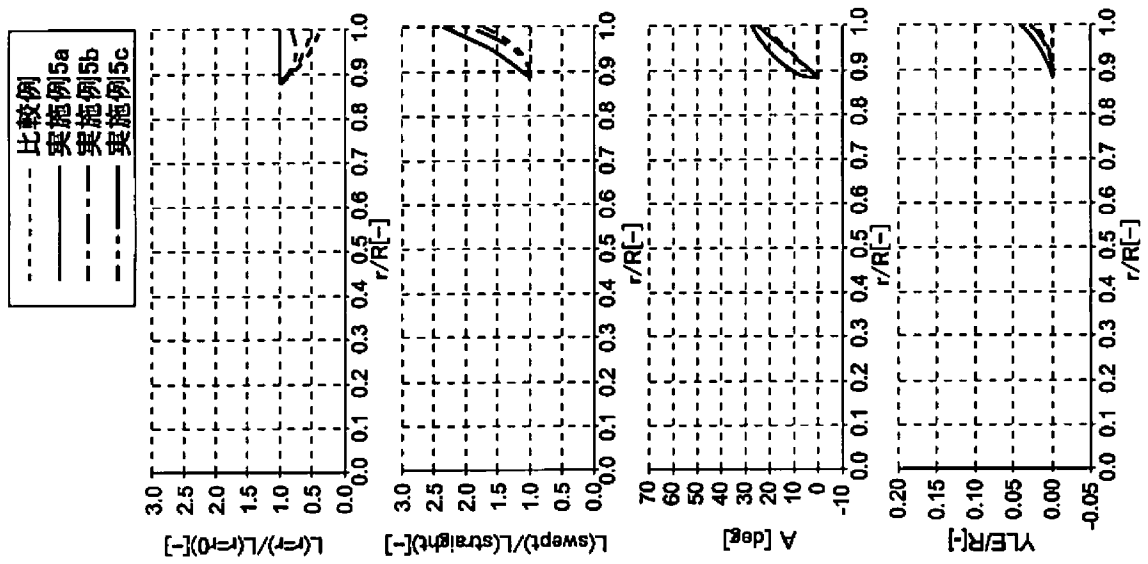
[図4C]



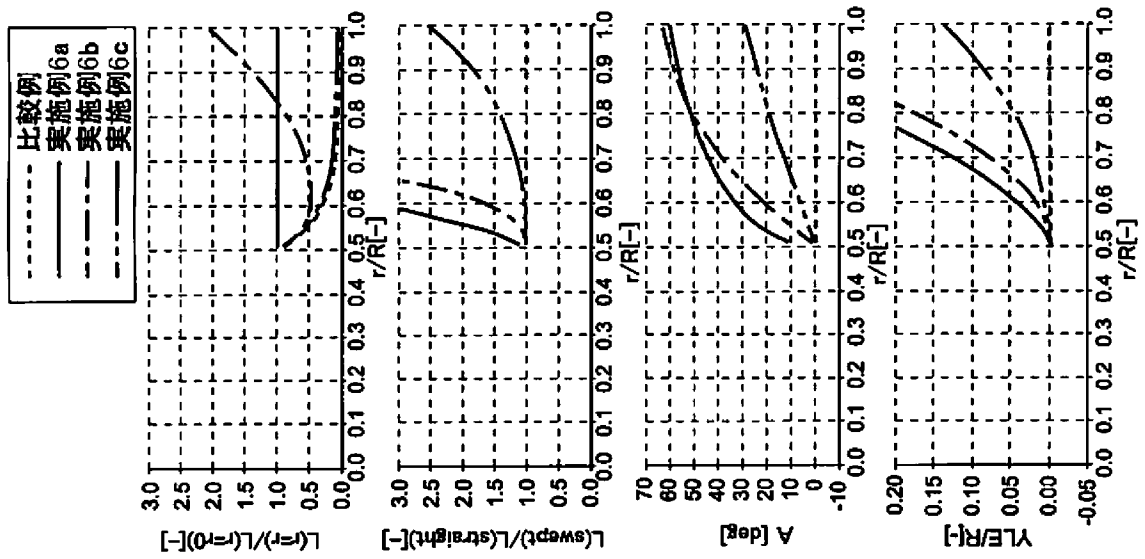
[図4D]



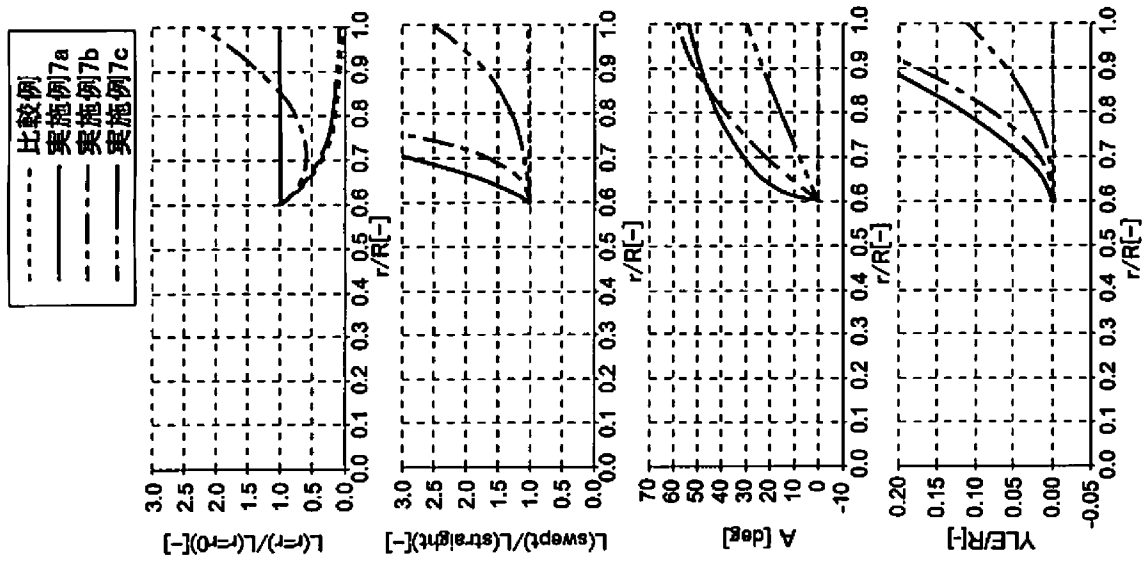
[図4E]



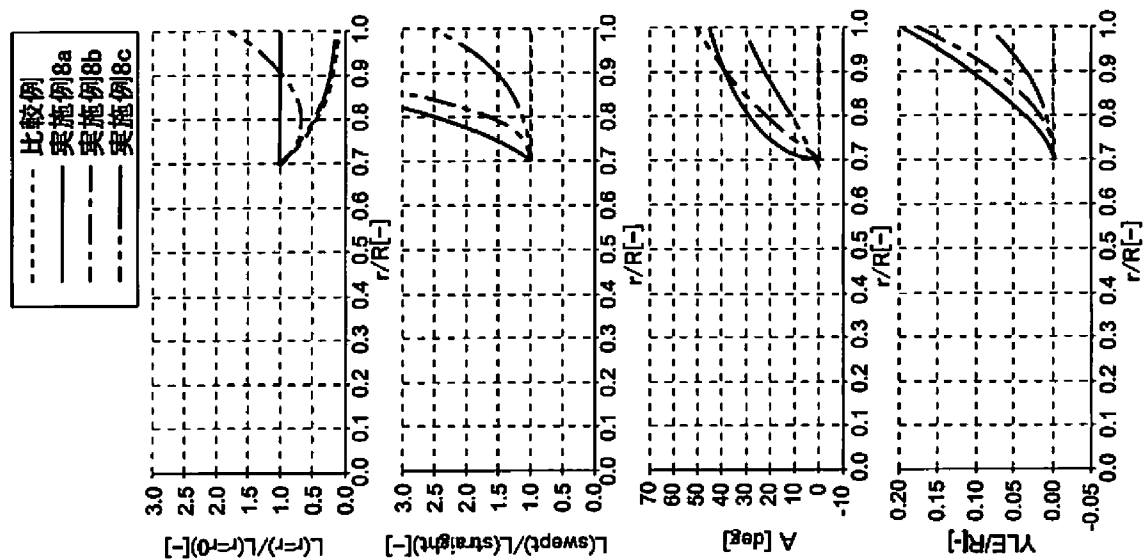
[図5A]



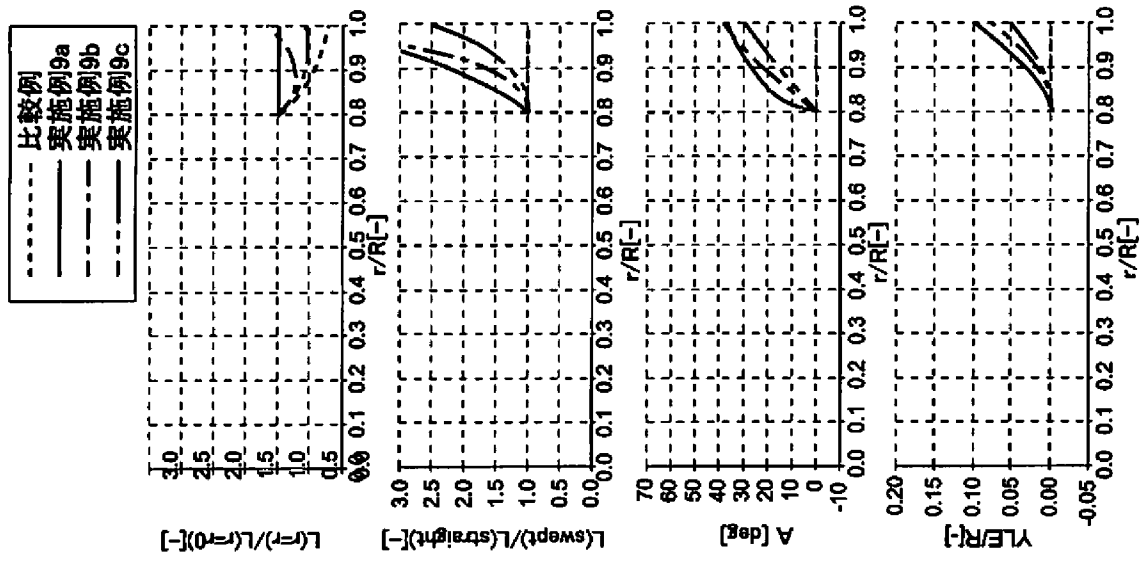
[図5B]



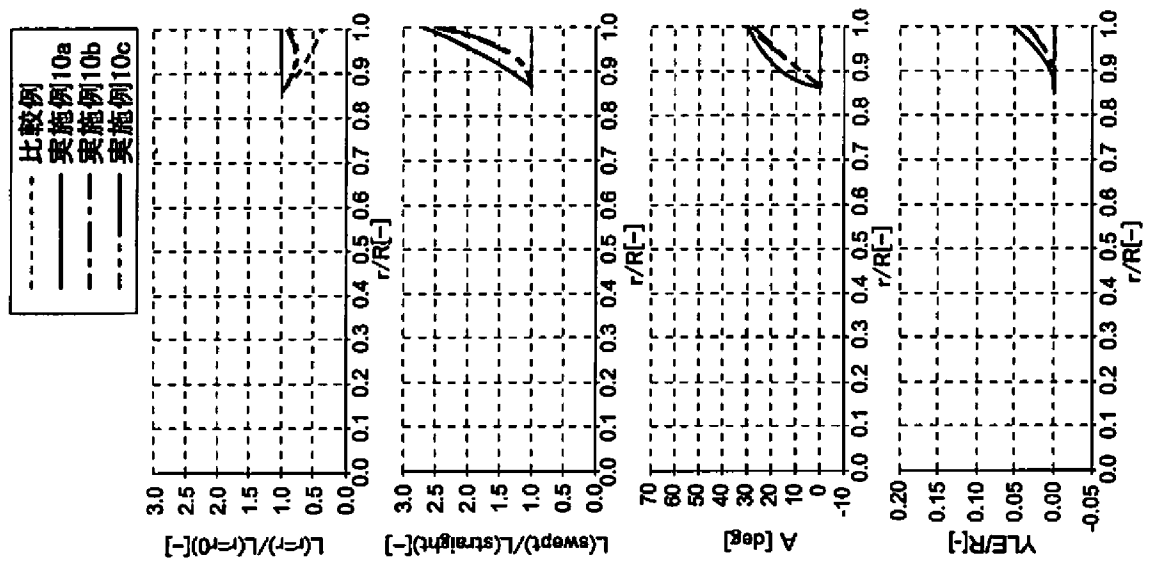
[図5C]



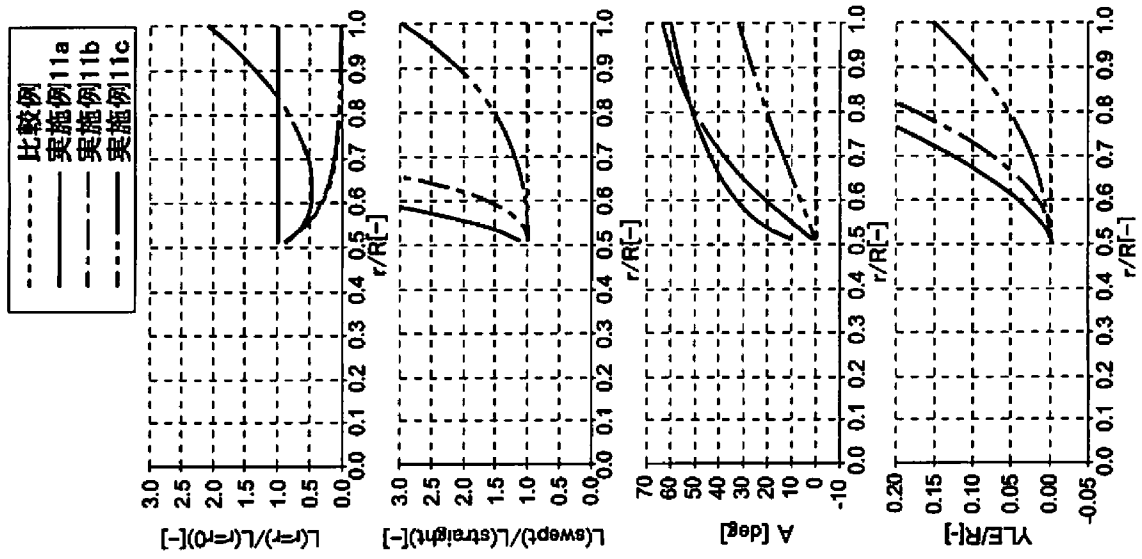
[図5D]



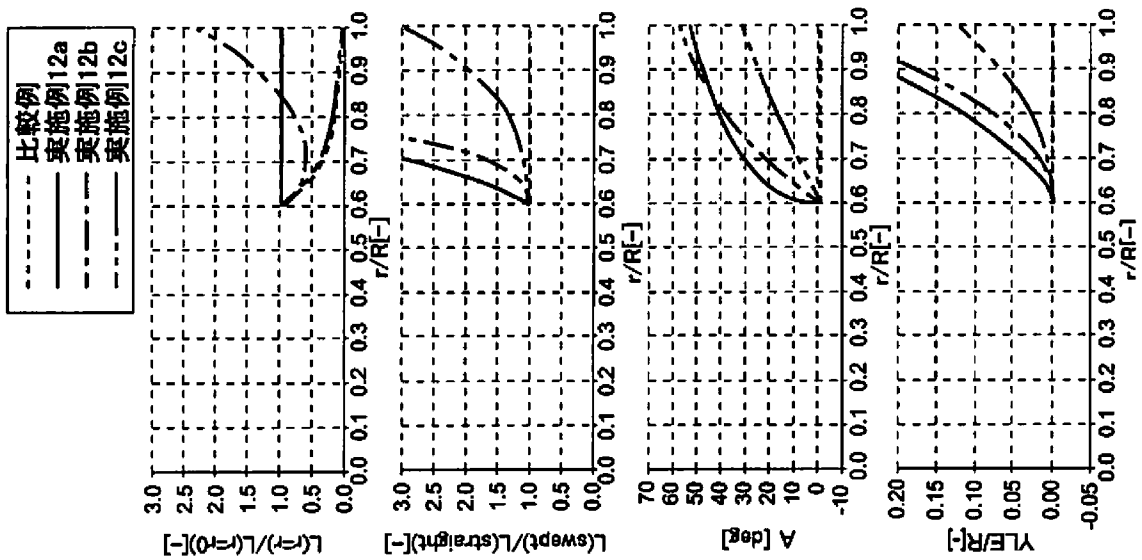
[図5E]



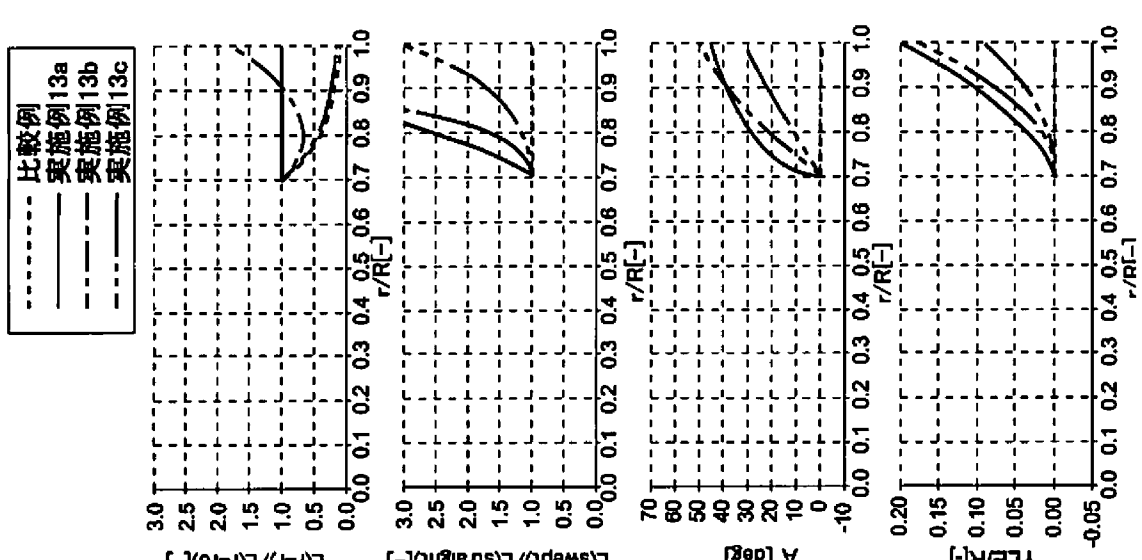
[図6A]



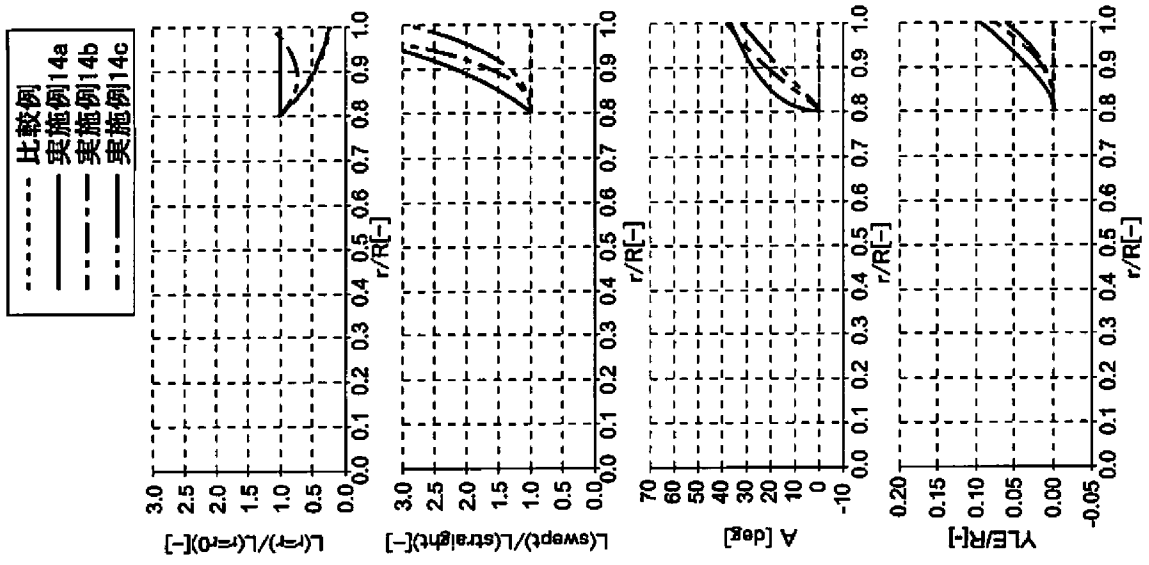
[図6B]



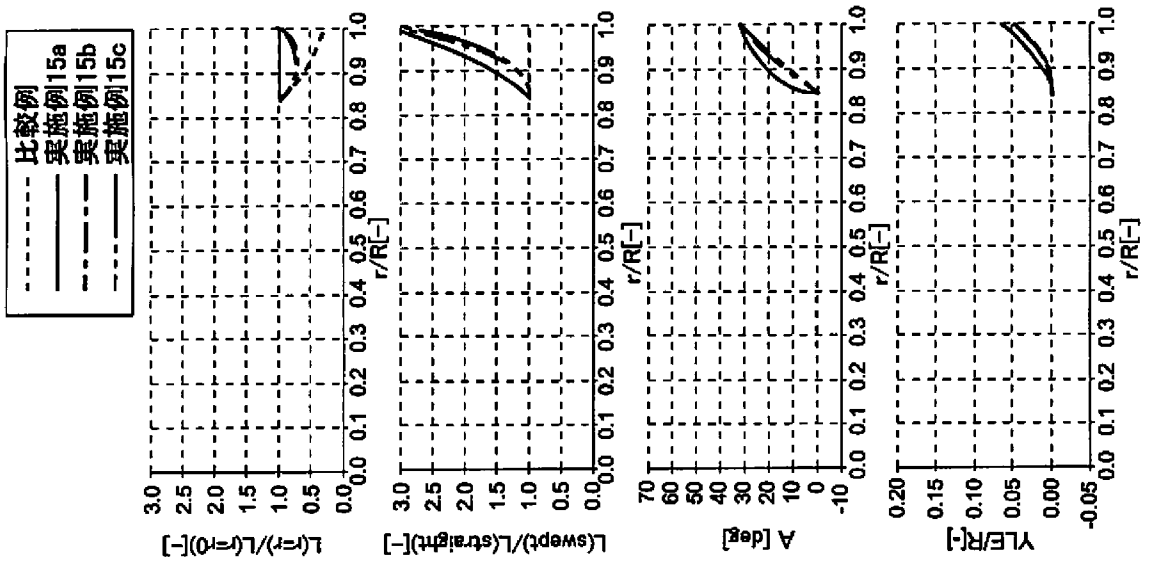
[図6C]



[図6D]



[図6E]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/054918

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F03D11/00 (2006.01) i, *F03D1/06* (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F03D11/00, F03D1/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2006-521483 A (Aloys Wobben), 21 September 2006 (21.09.2006), claims; paragraphs [0023] to [0033]; fig. 1 to 4 & US 2009/0068019 A1 & US 2006/0216153 A1 & WO 2004/061298 A2 & DE 10300284 A1 & KR 10-2005-0088325 A & CN 1732340 A	1-10
A	DE 10332875 A1 (NATENCO-NATURAL ENERGY CORP. GMBH), 17 February 2005 (17.02.2005), entire text; all drawings & EP 1500814 A1	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 May, 2013 (01.05.13)

Date of mailing of the international search report
14 May, 2013 (14.05.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/054918

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-310179 A (Fuji Heavy Industries Ltd.), 07 November 2000 (07.11.2000), entire text; fig. 3, 5 (Family: none)	1-10
A	JP 2012-251448 A (Toru FUKUSHIMA), 20 December 2012 (20.12.2012), entire text; fig. 1 (Family: none)	1-10
A	JP 2006-152864 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 15 June 2006 (15.06.2006), entire text; fig. 1, 2 (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. F03D11/00(2006.01)i, F03D1/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. F03D11/00, F03D1/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2013年
 日本国実用新案登録公報 1996-2013年
 日本国登録実用新案公報 1994-2013年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2006-521483 A (アロイス・ヴォベン) 2006.09.21, 特許請求の 範囲、【0023】 - 【0033】、図1-4 & US 2009/0068019 A1 & US 2006/0216153 A1 & WO 2004/061298 A2 & DE 10300284 A1 & KR 10-2005-0088325 A & CN 1732340 A	1-10
A	DE 10332875 A1 (NATENCO-NATURAL ENERGY CORP. GMBH) 2005.02.17, 全文、全図 & EP 1500814 A1	1-10

C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 01.05.2013	国際調査報告の発送日 14.05.2013
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 北村 一	30	3734
	電話番号 03-3581-1101 内線 3358		

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2000-310179 A (富士重工業株式会社) 2000. 11. 07, 全文、図3, 5 (ファミリーなし)	1 - 10
A	JP 2012-251448 A (福島 徹) 2012. 12. 20, 全文、図1 (ファミリ ーなし)	1 - 10
A	JP 2006-152864 A (石川島播磨重工業株式会社) 2006. 06. 15, 全文、 図1, 2 (ファミリーなし)	1 - 10